

# 水下生产设施液压控制仿真系统

周美珍<sup>1</sup>, 高明<sup>2</sup>, 王宇臣<sup>1</sup>, 杜浩博<sup>2</sup>

- (1. 海洋石油工程股份有限公司设计公司, 天津 300451;
2. 浙江大学 流体动力与机电系统国家重点实验室, 浙江 杭州 310027)

**摘要:** 为解决水下生产设施液压控制系统设计过程繁琐等问题,将AMESim软件的液压仿真技术与Visual Basic软件设计技术相结合,并将之应用于参数校核和系统仿真分析中。开展了对水下生产液压控制系统的工作原理以及组成元件的分析,建立了辅助软件设计与基本设计思路之间的关系,提出了水下生产设施液压控制仿真系统;在AMESim环境下开发了一套针对水下生产系统的液压元件库,实现了仿真领域的专业性;同时在Visual Basic程序开发上,根据设计人员输入的参数,校核相关标准,并将计算与输入的数据自动导入至AMESim仿真系统中,实现了水下生产系统仿真的过程控制;在中国海洋石油公司的一个项目中对辅助设计软件的功能和操作进行了评估。测试结果表明,针对水下生产设施液压控制仿真系统的设计开发可为相关设计人员提供界面友好、操作清晰的设计平台。

**关键词:** 水下生产系统; 液压控制仿真系统; AMESim; 二次开发; Visual Basic

**中图分类号:** TH137.9; TH39; TP319

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-4551(2012)12-1414-05

## Simulation system of subsea hydraulic control kit

ZHOU Mei-zhen<sup>1</sup>, GAO Ming<sup>2</sup>, WANG Yu-chen<sup>1</sup>, DU Hao-bo<sup>2</sup>

- (1. Offshore Oil Engineering Co.,Ltd. Design Company, Tianjin 300451, China;
2. State Key Laboratory of Fluid Power Transmission and Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** In order to solve the trivial problems in the hydraulic control system design of subsea production, the technology of AMESim's hydraulic simulation and Visual Basic software designing were investigated. After the analysis of the working principle of the system and its components, the relationship between software designing and methodology of the system was established, and the development of the simulation system was raised. The library development of subsea hydraulic components with the help of AMESim was achieved in specificity of simulation. Referred to the aided software designing with Visual Basic, the process control in the subsea production system simulation was succeeded, which covers the computation of required standard based on the users' input and loads the parameters into the simulation system in AMESim automatically. The test result for the assistant software in one project of CNOOC indicates that the software provides a convenient platform for designers of subsea production system with friendly interface and clear operation.

**Key words:** subsea production system; simulation system of hydraulic control; AMESim; re-development; Visual Basic

## 0 引 言

在国内,目前还没有专门针对于水下生产液压控制系统的仿真软件,研究者大都是在一个开放的液压仿真软件中进行繁琐建模设计,并且只对系统部分进行仿真分析<sup>[1]</sup>。在国外,其专门的水下液压系统仿真软件(例如SimulationX)虽然具备专门的水下仿真环

境和相关的水下液压元件库,但是由于其高昂的软件价格和封闭的设计技术,使得设计人员在系统设计的开放性上受到很大的限制,无法在该平台上建立符合工程需求的水下液压控制系统。由于AMESim液压仿真软件已得到广泛使用,并且具有灵活开发的用户开发接口,研究者通过对AMESim的二次开发,将清晰美观的辅助设计界面展现给设计人员,可使对于水下生

收稿日期: 2012-07-05

基金项目: 中国海洋石油总公司技术发展项目(C/KJF HG 003-2010)

作者简介: 周美珍(1962-),女,湖北武汉人,教授级高工,主要从事海洋工程方面的设计研究工作. E-mail: mary@mail.cooc.com.cn

产系统的设计与分析工作更加专业与便捷。对于 AMESim 的二次开发大多使用 AMESet 创建新的模型库<sup>[2]</sup>。对于 AMESim 软件接口的二次开发,国内外大都使用 AMESim 与 Matlab 进行接口交互仿真<sup>[3]</sup>,虽然有良好的交互仿真功能,但是应用在水下生产设施液压控制系统的设计上,其功能比较有限。在软件帮助文档中虽有相关介绍<sup>[4-5]</sup>,但是有关 AMESim 接口函数灵活运用方面的研究很少。

本研究通过在 AMESim 中开发专业水下液压元件库和设计 Visual Basic 接口程序,体现基于 AMESim 软件二次开发功能的强大性与优越性。

## 1 水下液压生产实施架构

水下生产液压控制系统的基本原理图如图 1 所示。该结构主要由液压动力单元(HPU)、脐带管、水下分配单元(SDU)、水下控制模块(SCM)、执行器以及连接各个元件之间的钢管或者软管组成。HPU 从海面平台提供液压动力输送至水下,SCM 通过电信号控制,实现对执行的开启与关闭控制,从而达到对整个水下采油树的控制。在整个水下生产设施液压控制系统设计过程中,研究者需要关注以下几个方面:

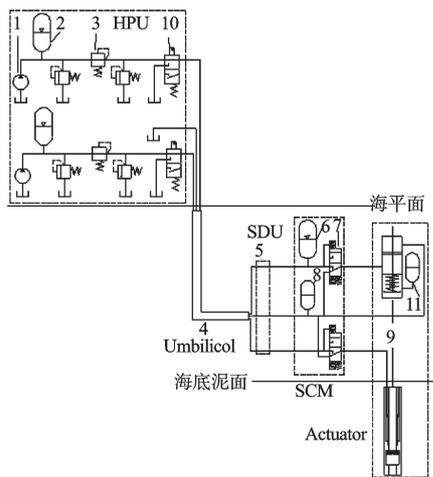


图1 水下液压控制系统原理图

由于脐带管的布置长度与水深和采油范围有关,例如中海油公司的流花4-1采油项目<sup>[6]</sup>中,FPS上的液压动力站(HPU)提供的液压液经由 13.57 km 的脐带缆输送到水下分配单元 SDU (Subsea Distribution Unit),其传输特性需要重点考虑,例如根据液容、液感的等效原理来分析长短管的输送特性<sup>[7]</sup>。

当该系统中需要操作多个执行器时,由于瞬时执行的开启,导致系统流量增加而压力降低,导致执行器因为压力过低而错误复位,因此本研究需要分析各个执行器间断开启后压力变动。

同时本研究要参照水下生产系统的标准

ISO13628-6:2006(E)<sup>[8]</sup>,对系统参数进行检验。低压系统:维持 SCM 供液侧与回液侧的压差高于 50% 的控制阀最大复位压力。高压系统:在操作邻近的另一个井下安全阀时,为避免其他安全阀执行器关闭,维持执行器的供液侧压力高于其蠕变压力的 15%。

上述这些情形的校验与仿真由研究人员通过计算机辅助设计软件进行计算,并将相关参数导入至 AMESim 仿真系统中进行仿真分析,得出需要的仿真结果。

## 2 AMESim 中的元件库建立

AMESim(多学科领域复杂系统建模仿真解决方案)为液压系统仿真提供强大的元件库和计算仿真的支持。用户可以通过最基本的液压模块构建需要的液压传动系统,也可以通过基本的液压组件构成复杂合适的元件。为了简化水下液压控制系统的仿真建模,便于后续仿真接口交互,本研究根据水下生产系统特点,在 AMESim 中将水下生产相关的液压元件整合成独立的模块,设计人员在建立液压仿真系统时,只需要调用封装好的模块,搭建应用于工程项目的井下生产设施液压控制系统。

以 HPU 元件的建立为例。根据 HPU 组成与功能,本研究在 AMESim 中建立如图 2 所示的系统,留出高压供油、低压供油、回油 3 个接口,创建为超级元件,同时设置元件图标、名称、说明等信息后就完成基本的元件封装,打开 AMECustom 可对建立的超级元件模型进行修正。在 AMECustom 中研究者需要结合实际生产使用的相关元件参数,进行转换和默认参数的屏蔽,使得仿真参数的设置与实际选型元件参数基本一致,达到水下生产液压控制系统仿真功能的切合。完成水下仿真元件库的建立后,本研究通过 AMESim 中“add category”功能将存储有关元件图标,元件模型特征,超级元件模型组成的文件夹添加到工作目录当中,就能在 AMESim 元件库的目录树下看到自行开发的水下液压库。在后续的仿真建模中,本研究只需调用水下液压库中的整合元件实现液压系统的架构。

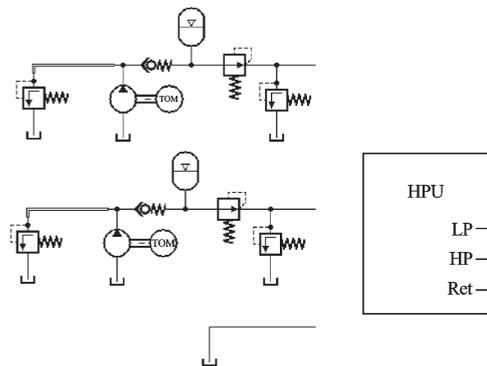


图2 HPU 元件封装

HPU在AMESim建立的结构图以及封装图如图2所示,包括电机、泵、减压阀、溢流阀、蓄能器。研究者AMECustom中需要将某些参数进行初始值设定,以及确定对设计人员隐藏的参数。本研究创建的针对水下生产液压控制的元件库以及其中所使用到的基本元件如图3所示。设计人员通过调用该库下的液压元件,搭建所需要的水下生产液压控制系统。

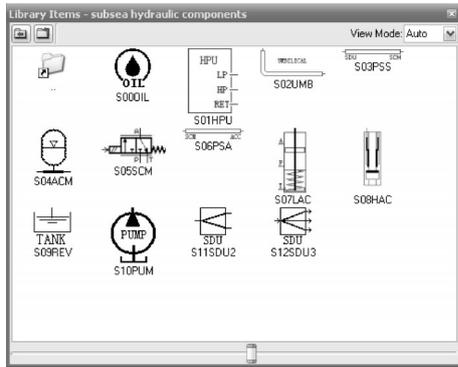


图3 设计的水下元件库

### 3 Visual Basic 辅助软件设计

辅助设计软件的功能主要分为:接受用户数据输入,校核系统参数指标,实现与AMESim交互仿真。辅助软件的开发采用Visual Basic 2008的开发环境<sup>[9]</sup>,不仅可以很便捷地进行界面的设计,同时与Office办公软件结合,实现对操作过程输入与输出的数据进行整理与保存。

(1) 参数输入部分。辅助软件的功能就是将原先需要在AMESim仿真环境中进行繁复的输入等操作,通过更加形象的方式展示在辅助软件界面中。为了使辅助软件的设计更加贴近开发人员的习惯,更加针对水下液压系统的特点,本研究在参数输入方面有一些程序设计上的考虑。简述如下:

① 参数的单位符合设计习惯,有清晰的提示信息;

② 输入数据的合法性在代入计算前需要进行检验,包括非数字字符,数据的范围过大或者过小,出现为零或者空格的输入。当系统检测到相关错误输入,能够给出提示的信息框,提醒用户修改;

③ 针对市场上已经存在的水下液压元件的型号,例如Cameron和Halliburton的水下执行器,相关参数已经固化,用户只需要选择相关型号,确定液压元件的细节参数。同时也增加了用户自定义元件参数集的选项。这些数据均通过后台的数据库进行增加、修改与更新。

(2) 参数计算与显示部分。由于长脐带管的输送特性对整个系统的影响最大,水下生产液压控制系统的计算校核围绕脐带管的直径参数进行。计算思路分

为正向计算和反向校核两种。正向计算根据用户输入的管道直径,计算液压元件接口出口压力,按照前面所述的标准对比,判断设计人员选择的脐带管直径是否符合系统要求;反向校核中,脐带管直径是根据系统标准计算出来的最小值,设计人员在这个范围下去选择合适的管线。本研究设计的软件参数输入界面如图4所示,用户通过元件标签选择液压元件的参数输入项目。

完成所有输入和计算功能之后,辅助设计软件提供数据存储的功能,用于实现将设计人员输入数据、计算结果有效地存储在EXCEL中,便于管理每次设计的数据。



图4 辅助软件参数输入界面

### 4 联合仿真过程控制

对AMESim仿真的过程控制也是在辅助软件中操作实现的。AMESim提供了相应的模块程序,通过调用这些程序可以实现对仿真文件参数的读取和修改。例如本研究在AMESim中提供了针对Python, Matlab, Visual Basic Application的脚本程序,进行AMESim文件的数据读取、修改,以及仿真过程的运行控制。但是这种脚本程序控制只能对AMESim中设置好的全局参数进行访问控制,局限在AMESim的参数设置级别上,限制了设计人员对AMESim访问的开放性。

AMESim线路应用程序接口(The Circuit API)可实现对AMESim仿真文件更加自由的操作,包括通过外部软件实现在仿真文件中添加模型、布置系统、连接元件、设置子模型、设置元件参数、控制仿真运行、获取仿真结果等功能,基本实现了在非AMESim界面中实现AMESim仿真功能的要求。国内有人在C++程序设计中使用了AMESim API进行物理仿真应用<sup>[10]</sup>,虽然实现了对AMESim在较高模块级别的访问,但是由于其设计软件只能针对一个固定的仿真文件,应用局限性较大,也没有充分发挥AMESim API的访问功能。

#### 4.1 联合仿真思路

虽然在AMESim API帮助文档中介绍了相关接口函数的使用,但是研究者通过Visual Basic.Net的软件开发环境完成仿真的过渡,需要根据.Net编程的规则,对函数的定义和使用做相应的修改和调整。

虽然研究者可以通过辅助设计软件建立水下生产系统液压控制仿真模型,但是相关的操作以及与用户之间的交互变得相当繁琐,限制了辅助设计软件的实用性。因此在使用该软件之前,需要具备在 AMESim 中建模的基本能力,可以将开发的元件库中元件拖曳并根据水下生产液压系统原理搭建成需要的目标放在模型。辅助设计软件通过对仿真模型的 XML 解析<sup>[1]</sup>,获得用户建模的信息,明确后续仿真参数的导入目标。

通过元件的标识进行识别之后,辅助设计软件调用访问 AMESim 文件的动态链接库(.dll)文件,获得对 AMESim 进行模型设置、参数设置、仿真运行、结果获取等函数入口地址,从而实现在 Visual Basic 程序界面中对 AMESim 仿真过程的控制,此时 AMESim 相关的计算进程都在操作系统后台运行,对于用户是透明的。

#### 4.2 联合仿真步骤

参考 AMESim 帮助文档 AMESim API Manual 中,通过 Python 开发环境的二次访问 AMESim 的例子,本研究在 Visual Basic 2008 程序中进行如下的程序处理过程,其程序流程图如图 5 所示。仿真界面如图 6 所示。

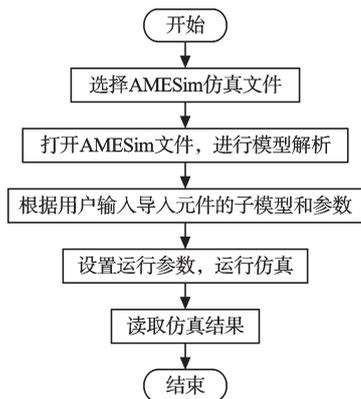


图 5 辅助软件与 AMESim 联合仿真流程图



图 6 联合仿真界面

导入文件的使用通过 Visual Basic OpenFileDialog 控件实现,以便查找用户原先设计保存的\*.ame 仿真文件。本研究使用 AMESim 软件中后台执行程序 AMELoad.exe 打开仿真文件,其中以后缀.cir 的文件存

储仿真系统建模信息。研究者通过 XML 解析工具可以看到其中的结构,包括元件名称、使用的子模型、连接信息、各个参数名称及参数值。而在 Visual Basic 中可使用 Microsoft XML V4.0 的 COM 组件实现可对 AMESim 仿真文件中建模信息的解析。系统通过唯一匹配 XML 节点中的元件名的关键词,得知用户在创建液压仿真模型中使用的元件,解决了仿真文件必须事先规定好的局限性,只要是用户使用设定的元件库搭建任意正确的 AMESim 仿真系统,辅助软件都会得到其准确信息,从而将参数正确导入。

一旦得知用户使用的元件信息,本研究就可以明确仿真文件中所有参数的路径。这些路径信息是对 AMESim 进行接口访问的函数内参量。例如设置 HPU 供油口出口压力,使用函数 AMESetParameterValue("LP\_output@S01HPU", "150"),其中 LP\_output 是在创建 HPU 元件时,在 AMECustom 中修定的 HPU 低压供油出口压力变量名,S01HPU 是创建时设置的元件名称,通过 XML 解析获得。其他的相关函数使用,在 AMESim API in VBA 的软件帮助文档中有详细的介绍,98 个函数满足了对 AMESim 运行仿真所有的控制需求。

值得注意的是,研究人员在使用外部程序对 AMESim 访问时,首先要使用 AMEInitAPI() 函数获得 AMESim 仿真的 license 许可,同时需要使用函数 AMESetActiveCircuit() 激活需要操作的 AMESim 仿真文件。在仿真结束之后,研究者需要使用 AMEcloseAPI() 函数关闭接口,删除在仿真过程中产生的临时文件。

由于这些访问函数都是通过动态链接库的形式获得的,本研究在程序开始需要对这些函数进行声明,例如对于 AMEcloseAPI 函数的申明采用如下形式:

```
Public Declare Sub AMEcloseAPI Lib "ame_apivba.dll"
Alias "_ybaAMEcloseAPI@0"
```

其中,"ame\_apivba.dll"为 AMESim 软件提供的动态链接库。

当参数设置完毕,进行仿真运行时,软件在后台运行 AMESim 的计算仿真进程,其计算方法和思路完全是基于 AMESim 的要求而制定。仿真时间取决于系统复杂程度和仿真时间要求。

仿真结束,研究者可以通过函数 AMEGetResultsFilesList(), AMEGetVariableFinalValue() 和 AMEGetVariableValue() 获取仿真结果数据,这些数据可以存储在 Excel 表格中,也可以通过 Visual Basic 的作图插件以图线的形式展示给设计人员。

## 5 结束语

本研究在考虑水下生产液压控制系统特点以及

在设计中所考虑的指标基础上,结合 AMESim 强大的液压系统仿真引擎,为不熟悉 AMESim 使用的设计人员提供了一个简洁专业的设计软件平台。

为了方便设计人员操作,本研究在 AMESim 中创建了针对水下生产液压控制系统的水下液压元件库,根据实际工程产品的特点对元件进行了优化。为了形成专业的辅助设计软件,笔者同时结合 AMESim 的液压系统计算功能,在设计基本的图形化用户输入界面以及简单的计算模块基础上,建立了对 AMESim 软件的访问接口,实现了对仿真文件参数设置、运行控制、结果获取等相关功能,达到了既操作简单,又有强大计算功能的目的。

在软件开发的过程中,存在“既让用户操作简单,又满足对 AMESim 访问开放性”的矛盾。为了简化用户的操作,减少软件与用户在信息确认上的交互过程,系统中的控制参数必须采用默认值,扩展的参数对用户屏蔽,这样就导致对 AMESim 访问的开放性得到限制。本研究采用在 AMESim 中自定义元件库的方法,规范元件库的相关参数,使得通过辅助软件访问方式清晰明确,在 AMESim 软件与 Visual Basic 程序间形成一个良好沟通的中间过程,既保证了用户在使用液压元件库操作中的简易性,也增加了辅助软件对 AMESim 中元件的访问控制。

### 参考文献(References):

- [1] 陈 鹰. 面向创新的液压仿真技术[J]. 液压气动与密封, 2003, 23(4): 16-20.
- [2] 潘 辉, 张黎辉. AMESim 软件在液体火箭发动机系统动态仿真上的应用[J]. 火箭推进, 2011, 37(3): 6-11.
- [3] 江玲玲, 张俊俊. 基于 AMESim 与 Matlab/Simulink 联合仿真技术的接口与应用研究[J]. 机床与液压, 2008, 36(1): 148-149.
- [4] LMS IMAGIN. AMESim Simulator Scripting [M]. LMS IMAGINE, 1995-2009.
- [5] LMS IMAGIN. AMESim API Manual [M]. LMS IMAGINE, 1995-2009.
- [6] 王建文, 王春升, 杨思明. 流花4-1油田水下生产系统总体布置设计[J]. 中国造船, 2011, 52(S1): 172-178.
- [7] 李华凤. 近海油田水下生产设施液压控制系统设计及仿真研究[D]. 杭州: 浙江大学机械工程学系, 2010.
- [8] ISO 13628-6: 2006, 石油和天然气工业. 海底生产系统设计和操作. 第6部分: 海底生产控制系统[S]. ISO, 2006.
- [9] 郝军启. Visual Basic 2008 从入门到精通[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [10] 张 超, 廖金军, 周志杰. AMESim API 在复杂物理系统仿真中的应用[J]. 流体传动与控制, 2011(1): 5-7.
- [11] 弗雷泽. VB. NET XML 入门经典: VB. NET 编程人员必备的 XML 技能[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.

[编辑: 李 辉]

(上接第 1413 页)

通条件所限,塔架直径不得超过 4 m。因此,目前兆瓦级风力机塔架的下端直径通常为 4 m。

### 3 结束语

本研究探讨了塔架概念设计阶段所要完成的设计。首先在简化了塔架力学模型的基础上,分析了塔架的失效模式,并采用中心点法建立了塔架的可靠性设计模型,最终基于 iSIGHT 编程,实现了概念设计阶段的风力机塔架结构可靠性设计。

该研究可为风力发电机塔架的结构优化设计提供一定的帮助,具有一定的工程实践价值。

### 参考文献(References):

- [1] 窦真兰. 大型风机变桨距控制系统的研究[J]. 电机与控制运用, 2011, 38(3): 38-44.
- [2] HANSEN M O L, SRENSSEN J N, VOUTSINAS S, et al. State of the art in Wind Turbine aero dynamics and aero elasticity [J]. *Progress in Aerospace Science*, 2006, 42(4): 285-330.
- [3] BAZEOS N, HATZIGEORGIU G D, HONDROS I D, et al. Static, seismic and stability analyses of a Prototype Wind turbine steel tower [J]. *Engineering Structures*, 2002, 24(8): 1015-1025.
- [4] 李 斌, 王振宇. 大型风力发电机塔架弹塑性地震分析[J]. 内蒙古科技大学学报, 2010, 29(1): 89-91.
- [5] 王海军, 刘日新. 风力发电机塔架抗风抗震分析[C]// 全国固体力学大会. 武汉: [出版者不详], 2010: [起止页码不详].
- [6] 刘日新. 风力机塔架的设计方法研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学建筑工程学院, 2011.
- [7] 李俊峰, 高 虎, 王仲颖等. 中国风电发展报告[R]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.
- [8] 高险峰, 马人乐. 风载下塔架结构的可靠度分析[J]. 特种结构, 2001, 18(4): 32-35.
- [9] 高险峰, 何敏娟. 基于可靠度的塔架最优化设计方法[J]. 结构工程师, 2002, 15(1): 1-5.
- [10] 刘 蔚. 多学科设计优化方法在 7 000 m 载人潜水器总体设计中的应用[D]. 上海: 上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院, 2007.

[编辑: 李 辉]